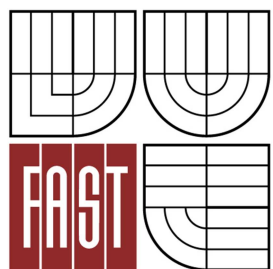




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

POROVNÁNÍ METOD PRO VÝPOČET EROZNÍHO SMYVU V POVODÍ

COMPARISON OF METHODS FOR CALCULATING THE EROSION RATE IN THE GIVEN WATERSHED

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN PLEŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2014



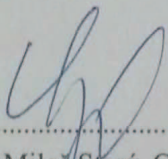
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKE V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby |
| Pracoviště | Ústav vodního hospodářství krajiny |

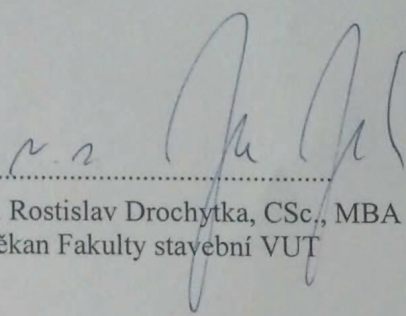
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|---|---|
| Student | Martin Plešek |
| Název | Porovnání metod pro výpočet erozního smyvu v povodí |
| Vedoucí bakalářské práce | doc. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc. |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2013 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 30. 5. 2014 |

V Brně dne 30. 11. 2013


prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Holý M, a kol.: Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha, 1998
2. Janeček M, a kol. : Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika ČZU Praha, 2012
3. Dumbrovský M, Mezera J, Strítecký L.: Metodický návod pro projektování pozemkových úprav, metodika ČMKPU, 2005
4. Morgan, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Third Edition. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

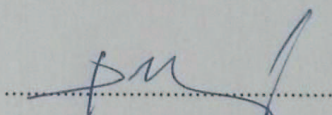
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

S využitím hydrologických a erozních extenzí ArcGis-s využitím digitálních podkladů v daném povodí proveďte vyhodnocení erozních a odtokových poměrů metodou klasického výpočtu dle univerzální rovnice USLE, metodou USLE2D v prostředí Arcview GIS a s využitím metody ATLAS DMT. V práci teoreticky popište použité metody a porovnejte výsledky jednotlivých analýz.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Práce se zabývá vyhodnocením erozních a odtokových poměrů metodami USLE, USLE2D v prostředí ArcGIS, Atlas a WEPP na katastrálním území Hostašovice. Metody jsou popsány a následně porovnány.

Klíčová slova

Eroze, USLE, USLE2D, Atlas, WEPP, Hostašovice

Abstract

Thesis deals with the evaluation of erosion and runoff rate using methods USLE, USLE2D in ArcGIS, Atlas and WEPP in the cadastral territory Hostašovice. The methods are described and compared.

Keywords

Erosion, USLE, USLE2D, Atlas, WEPP, Hostašovice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Martin Plešek *Porovnání metod pro výpočet erozního smyvu v povodí*. Brno, 2014. 42 s.,
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního
hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29.5.2014

.....
podpis autora
Martin Plešek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miroslavu Dumbrovskému, CSc. za vedení a rady ohledně tématu této práce.

OBSAH

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD..... | 2 |
| 2 | ROZBOR A POPIS ÚZEMÍ | 3 |
| 2.1 | Geologické poměry | 4 |
| 2.2 | Hydrologické poměry | 5 |
| 2.3 | Klimatologické poměry | 8 |
| 2.4 | Využití zemědělské půdy | 9 |
| 2.5 | Sklonitostní poměry | 10 |
| 2.6 | Pedologické poměry | 11 |
| 3 | POPIS POUŽITÝCH METOD A PROGRAMŮ | 13 |
| 3.1 | USLE..... | 13 |
| 3.2 | USLE2D | 16 |
| 3.3 | MODEL WEPP | 23 |
| 3.4 | ATLAS..... | 27 |
| 4 | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ | 28 |
| 5 | ZÁVĚR | 31 |
| 6 | POUŽITÁ LITERATURA..... | 32 |
| 7 | SEZNAM TABULEK | 33 |
| 8 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 34 |
| 9 | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ | 35 |
| 10 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 36 |

1 ÚVOD

Vodní eroze má zásadní vliv na degradaci zemědělské půdy a každý rok je díky špatné volbě plodin, obhospodařováním nevhodnou technikou a neprováděním protierozní ochrany ztraceno velké množství půdy. Postupná ztráta půdy má vliv jak na výdělek zemědělců, tak i na zanášení vodních nádrží a snižování jejich zásobního prostoru.

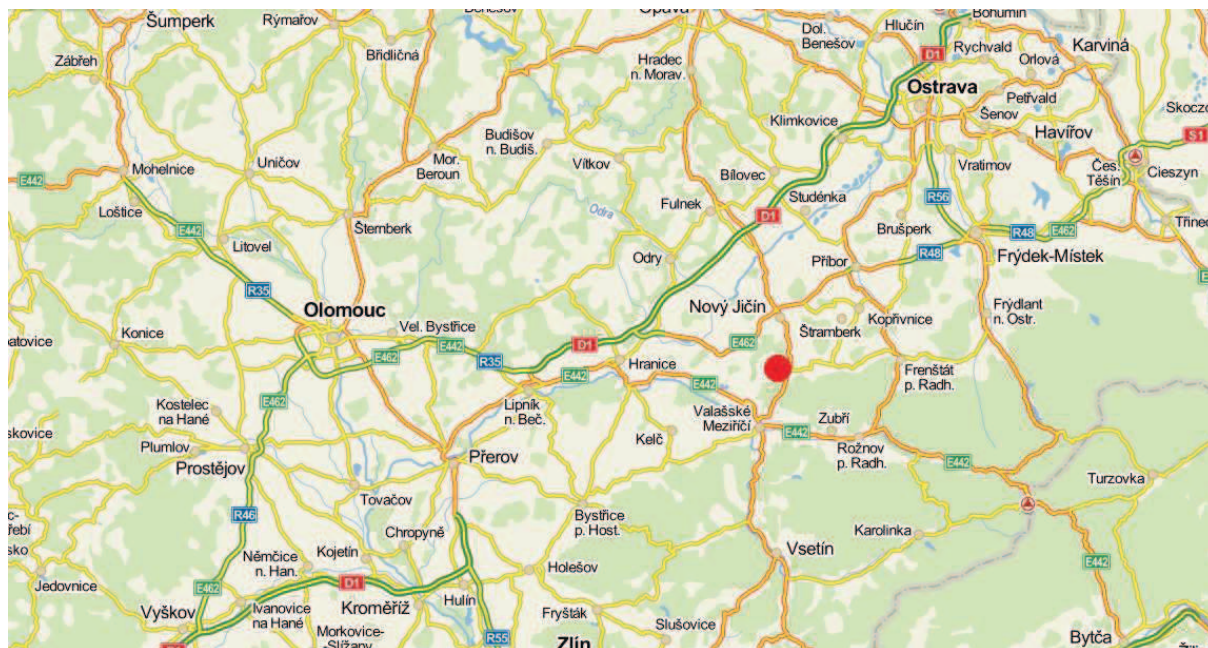
Tato práce se zabývá jednotlivými metodami pro výpočet eroze a následně porovnává jejich výsledky.

2 ROZBOR A POPIS ÚZEMÍ

Katastrální území Hostašovice leží v okrese Nový Jičín v Moravskoslezském kraji. Část území obce leží v povodí Odry a část v povodí Moravy. Celé území je součástí národního parku Pobeskydí.

Údaje o obci:

- Výměra : 925 ha
- Střední nadmořská výška : 380 m
- Nejnižší místo : 347 m
- Nejvyšší místo : 551 m



Obrázek 1 Geografická poloha k.ú. Hostašovice [8]

2.1 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Katastrální území Hostašovice se nachází převážně na horninách mezozonických, alpinsky zvrásněných (pískovce a břidlice).



0 750 1 500 2 250 3 000
Meters



Legenda

Katastrální území Hostašovice

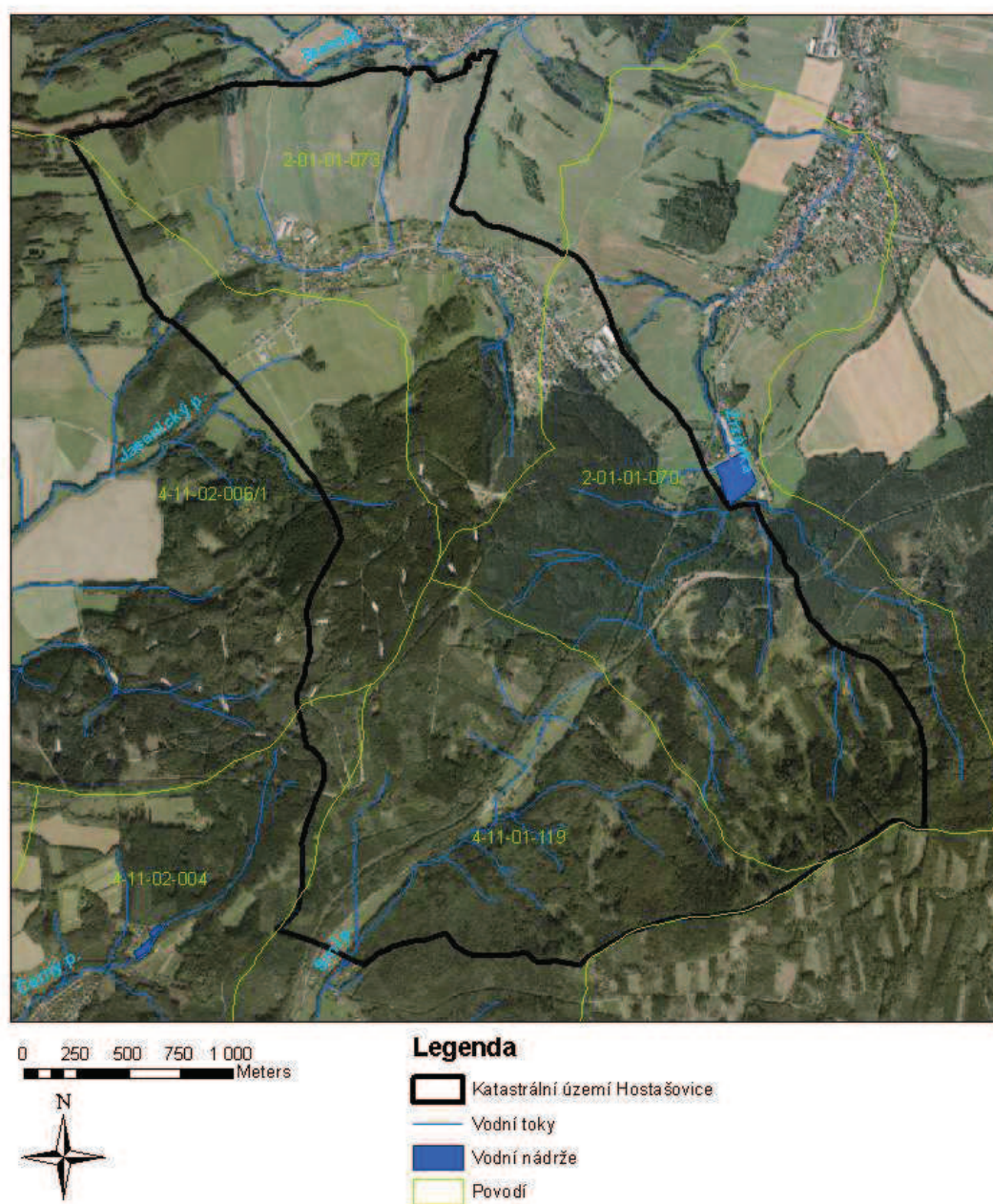
Geologické kategorie

- Kvartér (hlíny, spraše, písky, štěrky)
- Mezozoické horniny (pískovce, jílovce)
- Mezozoické horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice)
- Terciální horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice)
- Vulkanické horniny terciální (čediče, fonolity, tufy)

Obrázek 2 Mapa geologických poměrů

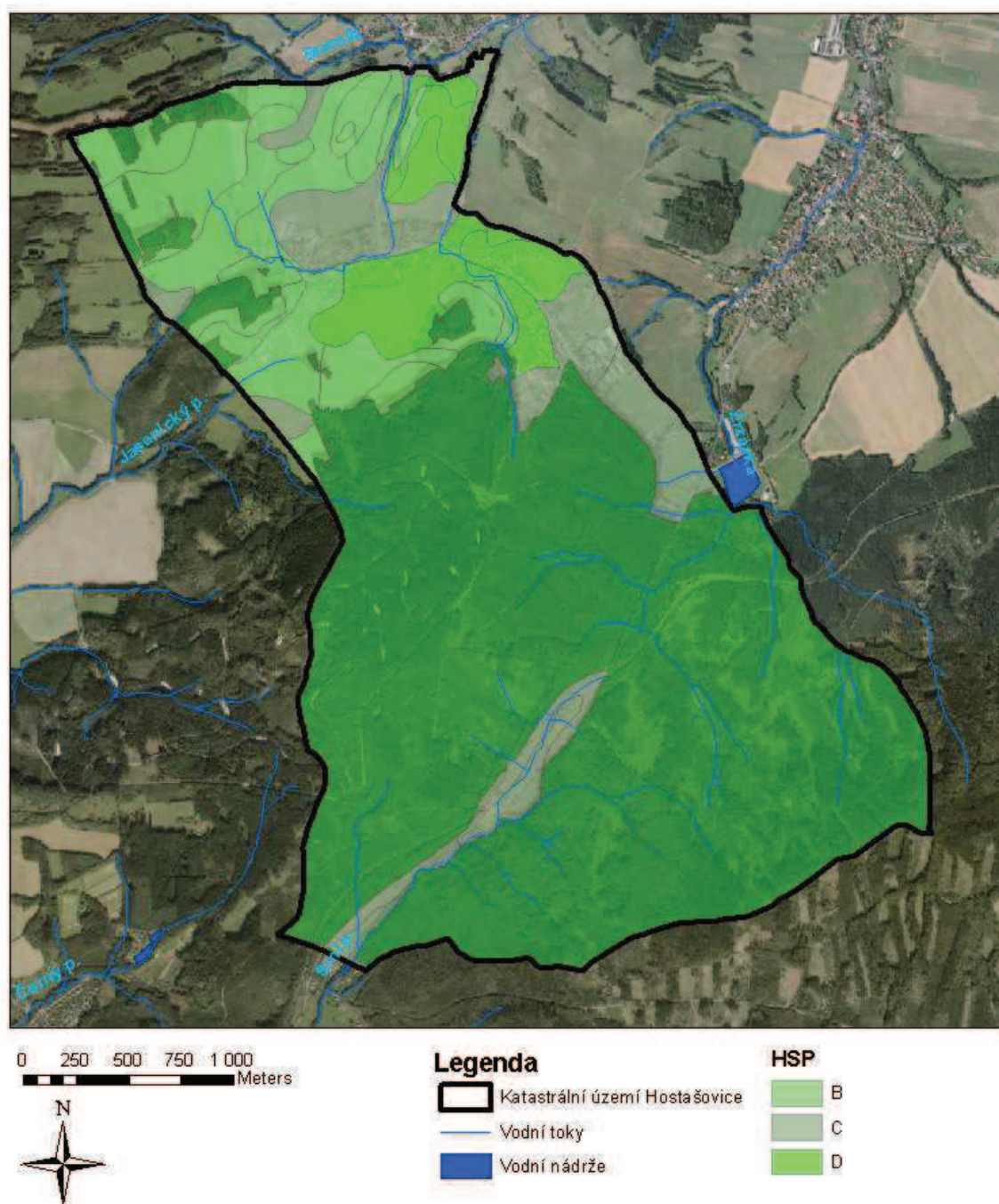
2.2 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Katastrální území Hostašovice leží na evropském rozvodí Dunaj-Odra. Severovýchodní část k.ú. Hostašovice se nachází v povodí Odry a jihozápadní část se nachází v povodí Dunaje. Vodními toky v zájmové lokalitě jsou z Oderské strany vodní tok Zrzávka a dále dva bezejmenné toky vlévající se do vodního toku Straník. Z Dunajské strany se jedná o Srní potok a Jasenický potok.



Obrázek 3 Hydrologická mapa k.ú. Hostašovice

V katastrálním území Hostašovice se nachází nejvíc půdy z kategorie B hydrologických skupin půd. V menším množství jsou zde zastoupeny i půdy z kategorií C a D.



Obrázek 4 Mapa hydrologických skupin půd

Tabulka 1 Hydrologické skupiny půd [5]

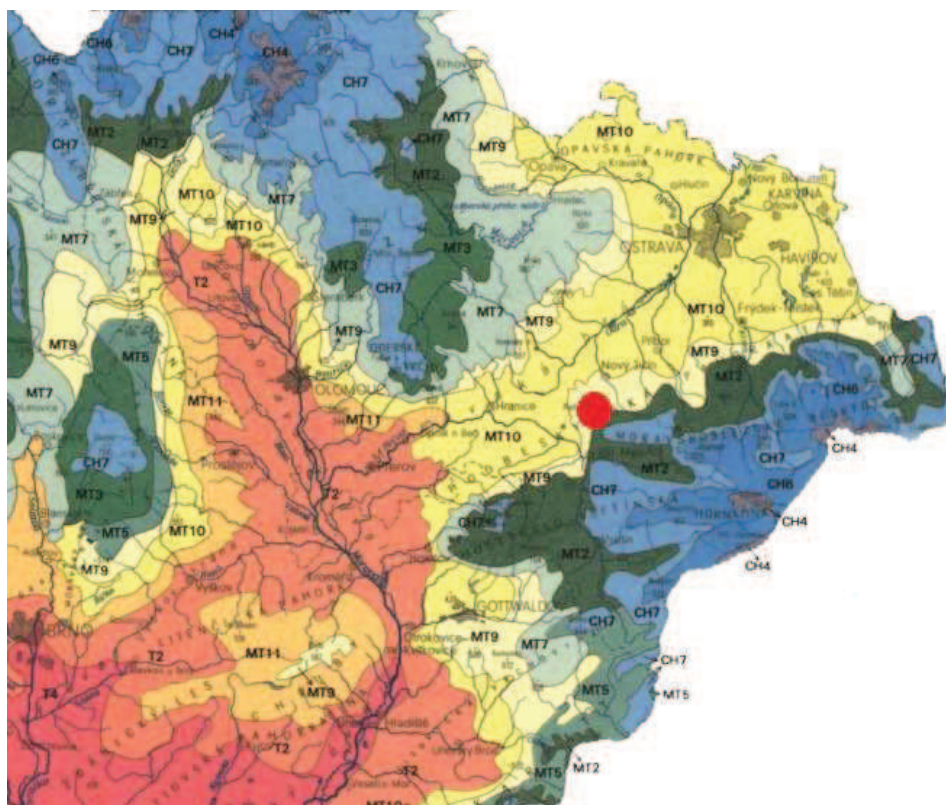
| Skupina | Popis |
|---------|--|
| A | Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,20$ mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a štěrky. |
| B | Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,10 - 0,20$ mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité. |
| C | Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,05 - 0,10$ mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité. |
| D | Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($< 0,05$ mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím. |

2.3 KLIMATOLOGICKÉ POMĚRY

Katastrální území Hostašovice svou polohou spadá pod klimatickou oblast MT9.

Průměrné hodnoty pro oblast MT9 [6]:

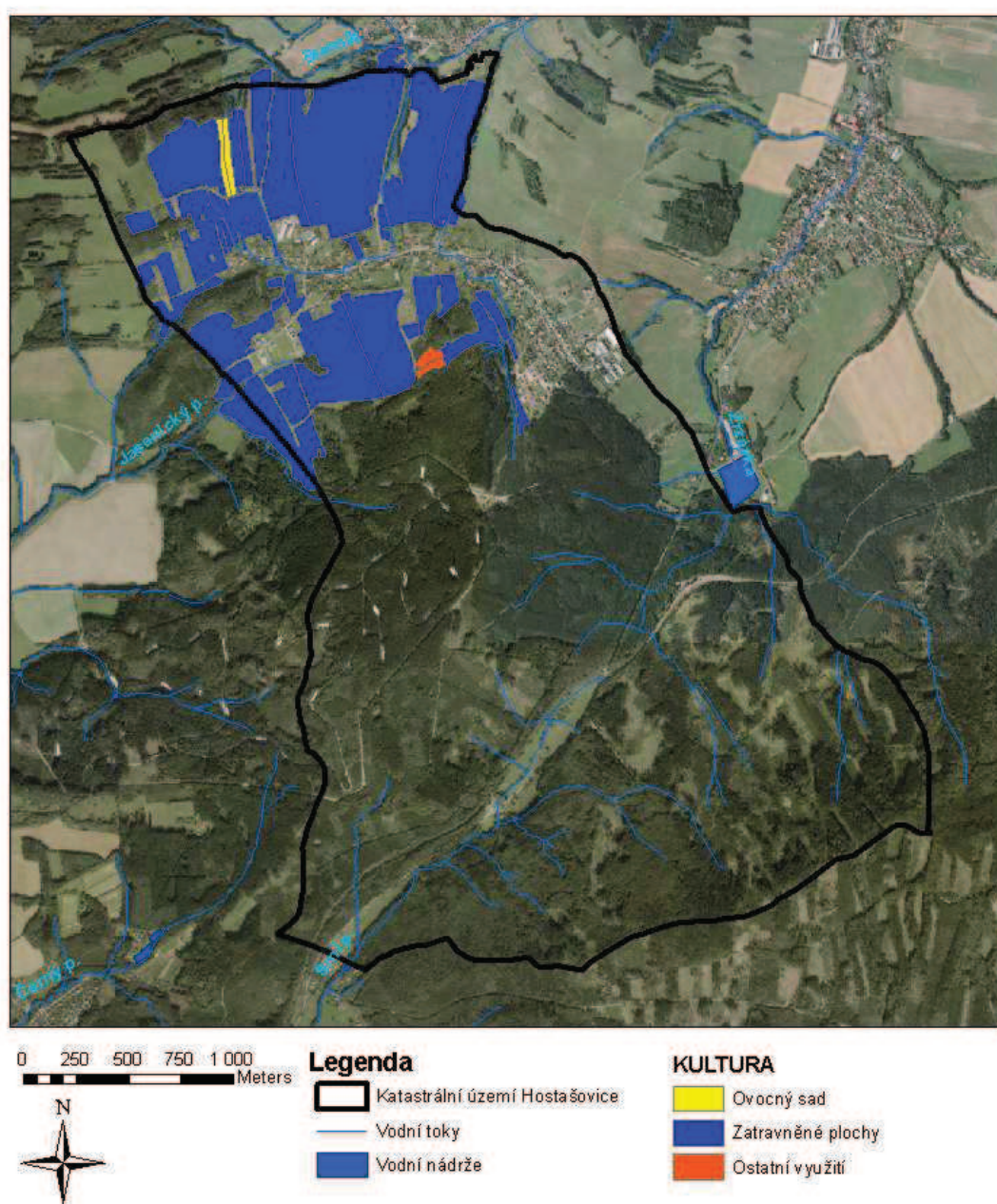
| | |
|--|----------|
| Počet letních dnů | 40-50 |
| Počet dnů s průměr. tepl. 10 °C a více | 140-160 |
| Počet mrazových dnů | 110-130 |
| Počet ledových dnů | 30-40 |
| Prům. teplota v lednu (°C) | -3 až -4 |
| Prům. teplota v dubnu (°C) | 6-7 |
| Prům. teplota v červenci (°C) | 17-18 |
| Prům. teplota v říjnu (°C) | 7-8 |
| Prům. poč. dnů se srážkami 1mm a více | 100-120 |
| Srážkový úhrn ve veget. období (mm) | 400-450 |
| Srážkový úhrn v zimním období (mm) | 250-300 |
| Počet dnů se sněhovou pokrývkou | 60-80 |
| Počet dnů zamračených | 120-150 |
| Počet dnů jasných | 40-50 |



Obrázek 5 Klimatologická mapa [9]

2.4 VYUŽITÍ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY

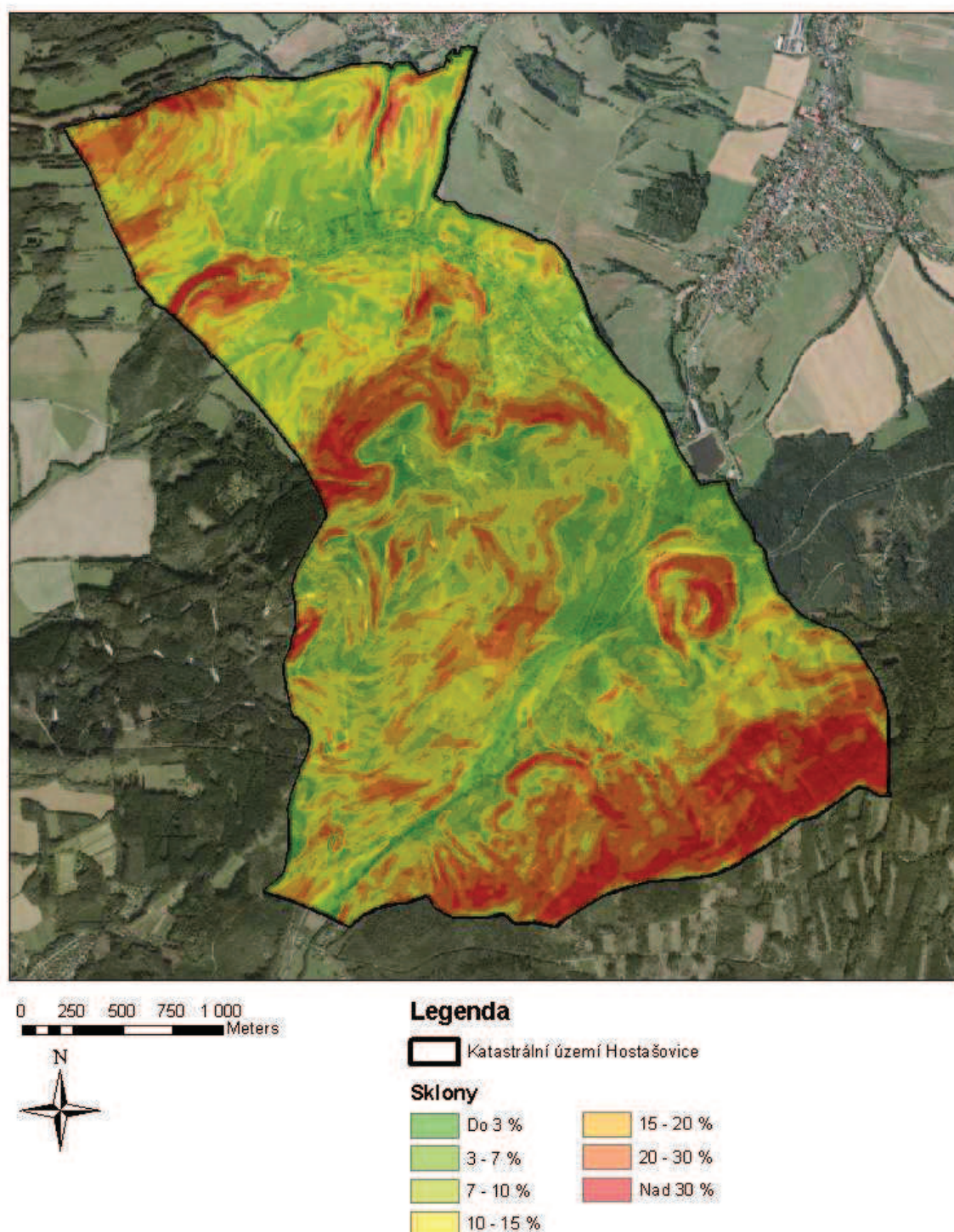
Velkou část katastrálního území Hostašovice tvoří zalesněné plochy. Zemědělská půda se zde vyskytuje pouze v severní části území. V dnešní době jsou zemědělské půdy v k.ú. Hostašovice převážně zatravněny. Tato práce však uvažuje o využití zemědělských ploch a posuzuje míru erozního ohrožení při pěstování plodin vhodných pro zdejší klimatický region, jako jsou třeba řepka olejka nebo jiné olejniny.



Obrázek 6 Mapa využití zemědělské půdy

2.5 SKLONITOSTNÍ POMĚRY

Terén na území k.ú. Hostašovice je velmi členitý, v jižní části převážně kopcovitý.

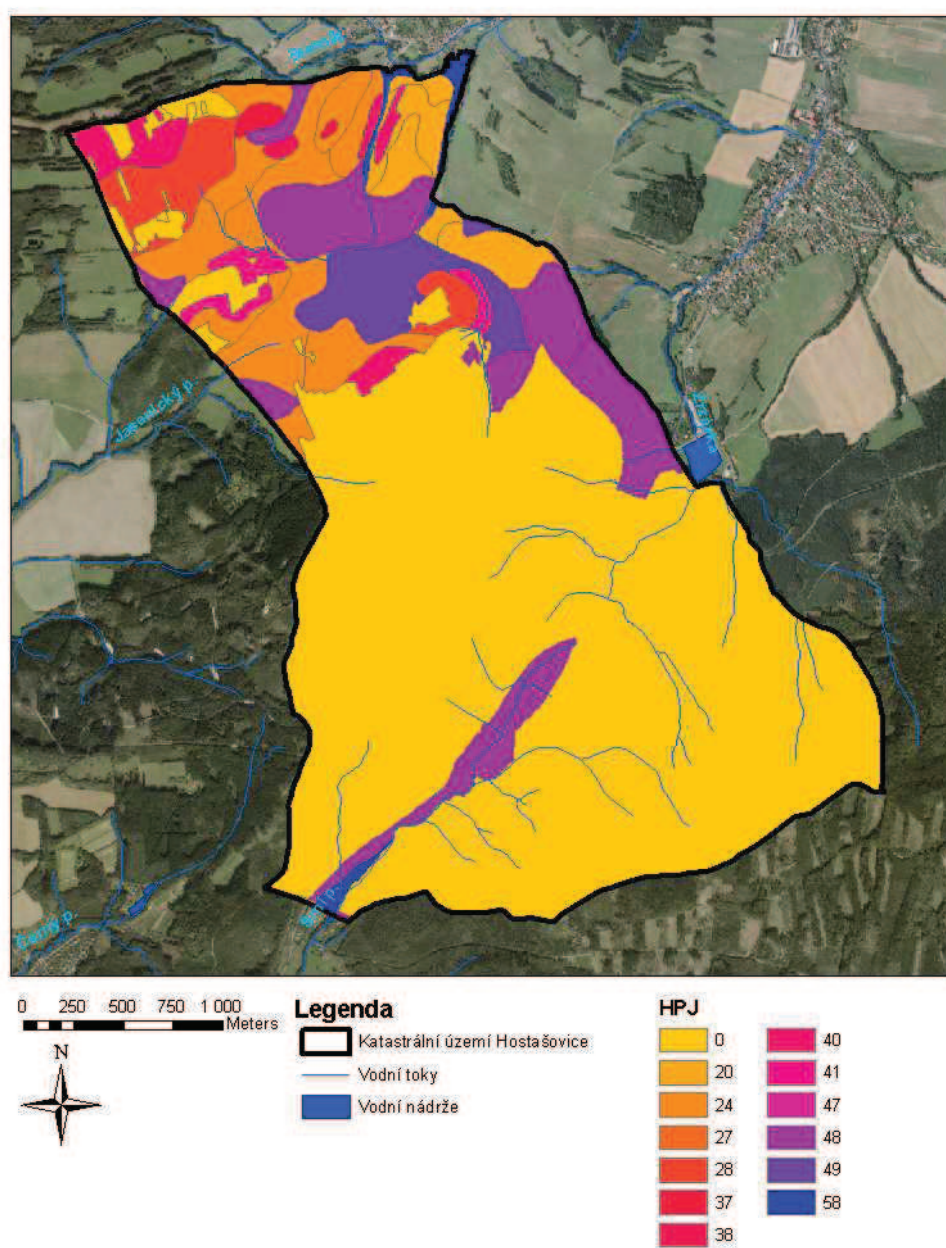


Obrázek 7 Mapa sklonitostí

2.6 PEDOLOGICKÉ POMĚRY

Mapa pedologických poměrů byla vytvořena klasifikací hlavních půdních jednotek (HPJ), které byly vzaty z mapy BPEJ. Druhé a třetí číslo BPEJ kódu je označení HPJ.

Hlavní půdní jednotka je účelové seskupení půdních forem, příbuzných ekologickými vlastnostmi, které jsou charakterizovány morfogenetickým půdním typem, subtypem, půdotvorným substrátem, zrnitostí a u některých hlavních půdních jednotek výraznou svažitostí, hloubkou půdního profilu, skeletovitostí a stupněm hydromorfismu.[1]



Obrázek 8 Mapa hlavních půdních jednotek

Tabulka 2 Hlavní půdní jednotky [7]

| | |
|----|---|
| 20 | Pelozemě modální, vyluhované a melanické, regozemě pelické, kambizemě pelické i pararendziny pelické, vždy na velmi těžkých substrátech, jílech, slínech, flyši, terciálních sedimentech podobně, půdy s malou vodopropustností, převážně bez skeletu, ale i středně skeletovité, často i slabě oglejené |
| 24 | Kambizemě modální eubazické až mezobazické i kambizemě pelické z přemístěných svahovin karbonátosilikátových hornin - flyše a kulmských břidlic, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, se střední vododržností |
| 27 | Kambizemě modální eubazické až mezobazické na pískovcích, drobách, kulmu, brdském kambriu, flyši, zrnitostně lehké nebo středně těžké lehčí, s různou skeletovitostí, půdy výsušné |
| 28 | Kambizemě modální eubazické, kambizemě modální eutrofní na bazických a ultrabazických horninách a jejich tufech, převážně středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, s příznivými vlhkostními poměry, středně hluboké |
| 37 | Kambizemě litické, kambizemě modální, kambizemě rankerová a rankery modální na pevných substrátech bez rozlišení, v podornici od 30 cm silně skeletovité nebo s pevnou horninou, slabě až středně skeletovité, v ornici středně těžké lehčí až lehké, převážně výsušné, závislé na srážkách |
| 38 | Půdy jako předcházející HPJ 37, zrnitostně však středně těžké až těžké, vzhledem k zrnitostnímu složení s lepší vododržností |
| 40 | Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici |
| 41 | Půdy jako u HPJ 40 avšak zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry |
| 47 | Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, kambizemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření |
| 48 | Kambizemě oglejené, rendziny kambické oglejené, pararendziny kambické oglejené a pseudogleje modální na opukách, břidlicích, permokarbonu nebo flyši, středně těžké lehčí až středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému, převážně jarnímu zamokření |
| 49 | Kambizemě pelické oglejené, rendziny pelické oglejené, pararendziny kambické a pelické oglejené a pelozemě oglejené na jílovitých zvětralinách břidlic, permokarbonu a flyše, tufech a bazických vyvěřelinách, zrnitostně těžké až velmi těžké až středně skeletovité, s vyšším sklonem k dočasnému zamokření |
| 50 | Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření |

3 POPIS POUŽITÝCH METOD A PROGRAMŮ

Predikce eroze půdy je předmětem zájmu vědců již od roku 1930 a bylo k tomu účelu vyvinuta řada modelů (např. USLE, RUSLE, MUSLE, CREAMS, ANSWERS, AGNPS, KINFIL, HydroCAD, atd.). Některé modely (SMODERP) byly testovány i pro podmínky ČR (Holý, Váška, Vrána, 1988). Podrobnější přehled simulačních modelů vodní eroze poskytuje např. Schmidt (2000), Morgan a Nearing (2011). Lal (2001) uvádí některé autory, kteří se zabývali predikcí eroze půdy, jako je Baver (1933), který nabídl empirický vztah pro odhadování eroze půdy zahrnující parametry jako disperze půdy, míra infiltrace, propustnost půdy a velikost částic. Zingg (1940) vztáhl erozi půdy ke sklonu svahů. Podobné empirické vztahy vyvinuli také Horton (1945) a Ellison (1947). Smith a Whitt (1948) přidali více faktorů do rovnice dle Zingga, aby zohlednili také vliv pokryvu a způsob obdělávání. Hlavním předchůdcem universální rovnice pro výpočet ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE) byl model vytvořený Musgrave (1947), který vyvinul parametrický model založený na vztahu eroze a erodibility půdy (K), vegetačnímu pokryvu (C), sklonu svahů (S), délce svahu (L) a maximální 30 minutové intenzitě (I30). Byl to právě tento vztah, který byl následně upraven autory Wischmeier a Smith (1958) a stal se známým pod akronymem USLE.[1]

3.1 USLE

K určování ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a k hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření se podobně jako v jiných zemích používá v České republice tzv. „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE“ dle WISCHMEIERA a SMITHE (1978). Ve stadiu ověřování je i RUSLE, tzv. revidovaná univerzální rovnice podle RENARDA et al. (1997). Oba empirické modely vycházejí z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standardních elementárních odtokových ploch o délce 22 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti mechanicky udržován ve směru sklonu svahu jako úhor. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje trvale a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy.[2]

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

- kde: G průměrná dlouhodobá ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]
- R faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů
- K faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu
- L faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí
- S faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí
- C faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice
- P faktor účinnosti protierozních opatření.[2]

Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy a udává množství půdy, které se z pozemku uvolňuje vodní erozí. Nezahrnuje však její ukládání na pozemku, či na plochách ležících pod ním. Rovnice se nedoporučuje používat pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu.[2]

USLE je široce používán a od jeho vytvoření došlo k několika přizpůsobením a změnám. Model USLE byl vyvinut jako regresní vztah pro predikci eroze půdy na zemědělských pozemcích na skloněných svazích. Během let 1970–1980 byl modifikován tak, aby byl použitelný také pro jiné podmínky. Byla vyvinuta modifikovaná universální rovnice pro výpočet ztráty půdy (Modifed Universal Soil Loss Equation – MUSLE) pro odnos sedimentů z povodí a další modifikované rovnice zabývající se odnosem sedimentu z pastvin, ze zalesněných ploch, rovinatých ploch, aj. Revidovaný model RUSLE aktualizuje informace o data získaná po roce 1978, kdy byl vytvořen model USLE a liší se ve stanovení některých hodnot faktorů.[3]

Pro výpočet eroze modelem USLE byl použit program ERCN. Na zemědělskou půdu v katastru Hostašovic bylo umístěno 10 linií pro které byla počítána eroze. Linie byly vykresleny ručně podle úsudku autora práce.

The screenshot shows the 'Erozní smyv' (Erosion) window of the ERCN program. The title bar reads 'Erozní smyv'. The main title is 'Výpočet průměrného ročního smyvu půdy [t/ha.rok] podle Wischmeier-Smitha'. The interface is divided into several sections:

- Inputs:** A list of factors with input fields and units: $G = 0.61$ [t/ha.rok], $R = 40$ [MJ/cm.ha/h], $K = 0.36$ [-], $L = 2.88$ [-], $S = 2.94$ [-], $C = 0.005$ [-], $P = 1$ [-], $li = 184$ [m], $hi = 32$ [m], and $s = 17.39$ [%]. There are buttons for 'Volba R-faktoru', 'Výpočet C-faktoru', and 'Volba P-faktoru'.
- Output/Status:** 'Číslo odtokové linie : 1', 'Přípustná ztráta půdy vodní erozí', 'Půdy : středně hluboké (30 - 60 cm)', 'Přípustný smyv 4 [t/ha.rok] nebyl překročen .'
- Table:** A table titled 'Úseky' (Sections) with columns: Délka l [m], Výška h [m], Faktor K [-], and Sklon s [%]. It contains two rows of data: (156.1, 26, 0.38, 16.66) and (27.9, 6, 0.24, 21.51).
- Buttons:** 'Výpočet erozního smyvu', 'Vynulovat formulář', 'Zadání linie', 'Výpočet linie', 'Uložit', 'Editovat linie', 'Načtení linie', 'Konec', and 'Kontrola zadání'.

Obrázek 9 Ukázka prostředí programu ERCN

3.2 USLE2D

Pro identifikaci plošně rozsáhlých území ohrožených ztrátami půdy vlivem vodní eroze je optimální vhodné stanovení ztráty půdy pomocí GIS analýz v prostředí ArcGIS. Pro stanovení faktorů R, K, C, P se při GIS analýzách využívá postupů uváděných při sestavování rovnice USLE (Wischmeier a Smith, 1978; Janeček a kol., 2007) tak, že se jednotlivé faktory pomocí vhodných nástrojů ArcGIS převedou na plošné rastrové vrstvy nebo konstanty. Základem výpočtu ztráty půdy v GIS softwarech je stanovení L a S faktorů. Obecně se topografické faktory počítají dohromady jako LS faktor. Pro plošně rozsáhlá území je metodicky doporučeno pro stanovení LS faktoru použít program USLE2D (Govers a Van Oost, 2000) vyžadující data ve formátu Idrisi, která jsou s využitím programu LS Converter převedena do prostředí ArcGIS. V programu USLE2D je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou (dílčím povodím) rastrového elementu. Rovnice pro výpočet LS faktoru je stanovena různými autory (Wischmeier a Smith, 1978; McCool a kol., 1987 a 1989; Govers, 1991; Nearing, 1997).[3]

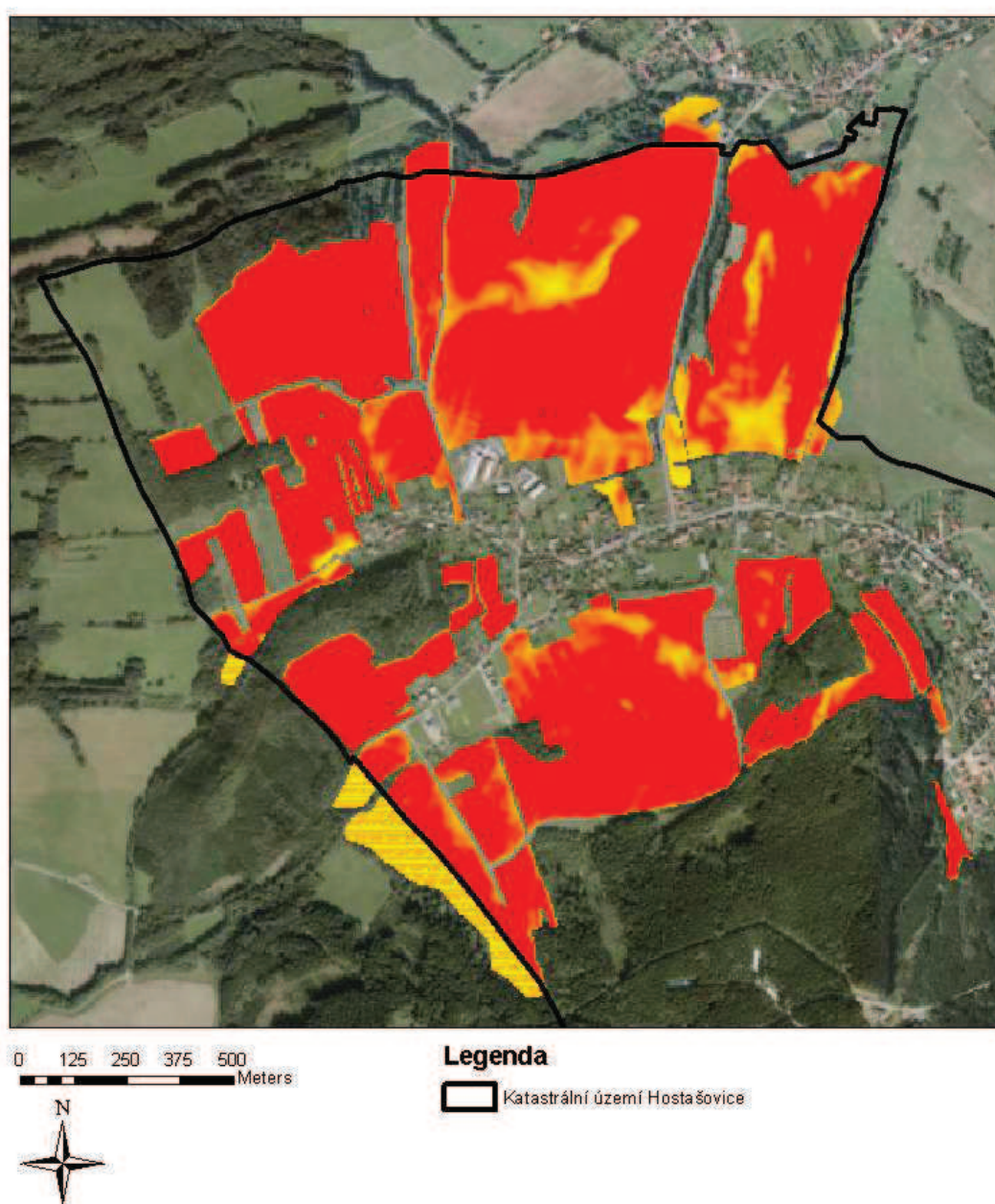
Další možný způsob stanovení LS faktoru je prezentovaný v literatuře Mitášová a kol. (1996), kdy na LS faktor má velký vliv soustředování odtoku (nástroj Flow Accumulation), čímž je vyjádřen výrazný vliv na výpočet ztráty půdy v místech koncentrace odtoku.[3]

Faktor LS je možné stanovit pomocí rovnice pro přímý svah podle Wischmeiera a Smithe (1978) a také Janečka a kol. (2007) tak, že se využije v programu ArcGIS „Raster Calculator“ s vložením rovnice obsahující vrstvy rastrů nepřerušovaných svahových délek v metrech (nástroj Flow Lengths) a sklonu (nástroj Slope) v % stanovených na základě digitálního modelu reliéfu (DMR). Na výsledný LS faktor mají výrazný vliv svahové délky, tj. odtokové linie.[3]

Pro stanovení LS faktoru byl v práci použit program USLE2D a byl zvolen algoritmus podle McCoola (1987 a 1989), který využívá metodu výpočtu LS faktoru uvedenou v RUSLE a je určena pro plošnou erozi se stejným poměrem rýhového i mezirýhového prostoru. Výhodou této metody je plošné vyjádření LS faktoru na rozdíl od výše uváděných metod výpočtu na základě soustředěného odtoku nebo odtokových linií.

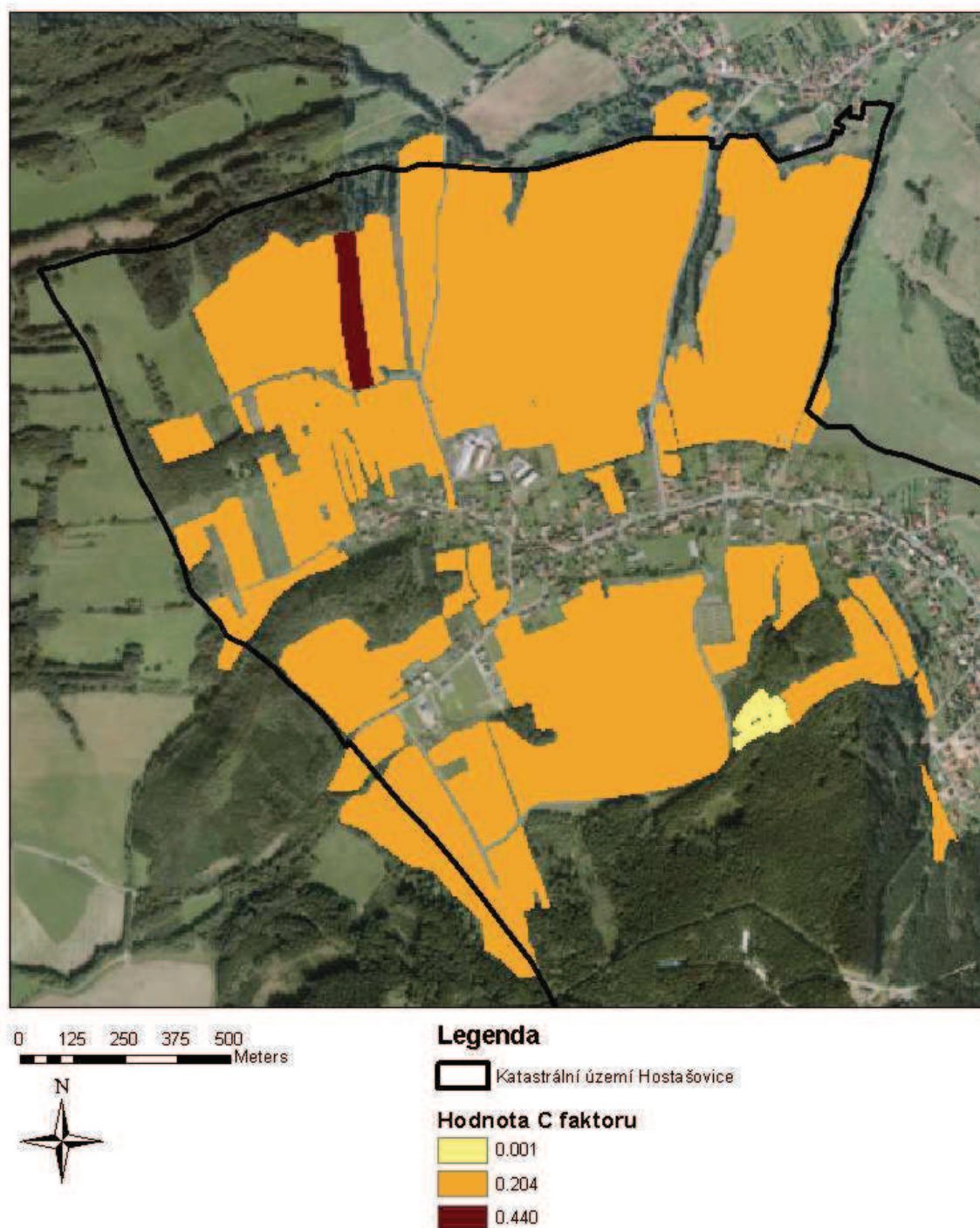
Metoda USLE2D vychází také z univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí dle WISCHMEIERA a SMITHE. Její realizace ale probíhá ve 2D prostředí, takže zdrojová data jsou zadávány jako rastry, nikoli linie. Ke zpracování a výpočtu byl použit software ArcGIS 9.2, LS-converter a USLE2D.

Pro výpočet LS faktoru potřebujeme vyhlazený digitální model terénu a erozně uzavřené celky získané z registru půdních bloků LPIS. Následně se erozně uzavřené celky převedou na rastr, klasifikují se a převedou se do formátu txt. Stejně tak i digitální model terénu se převede do formátu txt a oba dva soubory poté převedeme LS konvertorem do formátu Idrisi (.rst). Poté proběhne výpočet v programu USLE2D. Vypočtené soubory převedeme zpět LS konvertorem na formát txt a v GISu pak konvertujeme txt formát na rastr. Výsledkem je rastr LS faktoru na erozně uzavřených celcích.



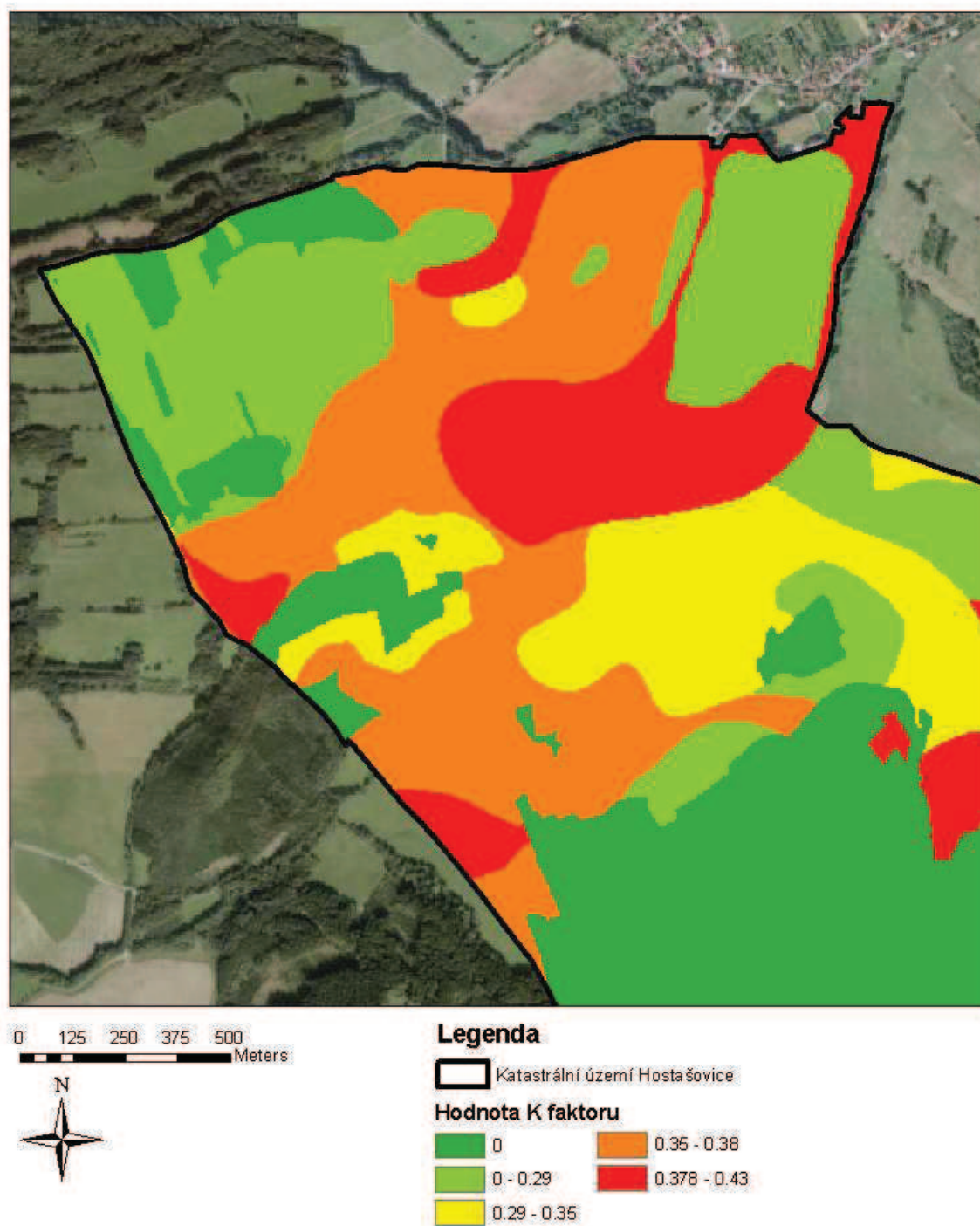
Obrázek 10 Mapa LS faktoru

Hodnota C faktoru byla získána klasifikací dle vegetačního pokryvu z mapy využití zemědělské půdy LPIS.



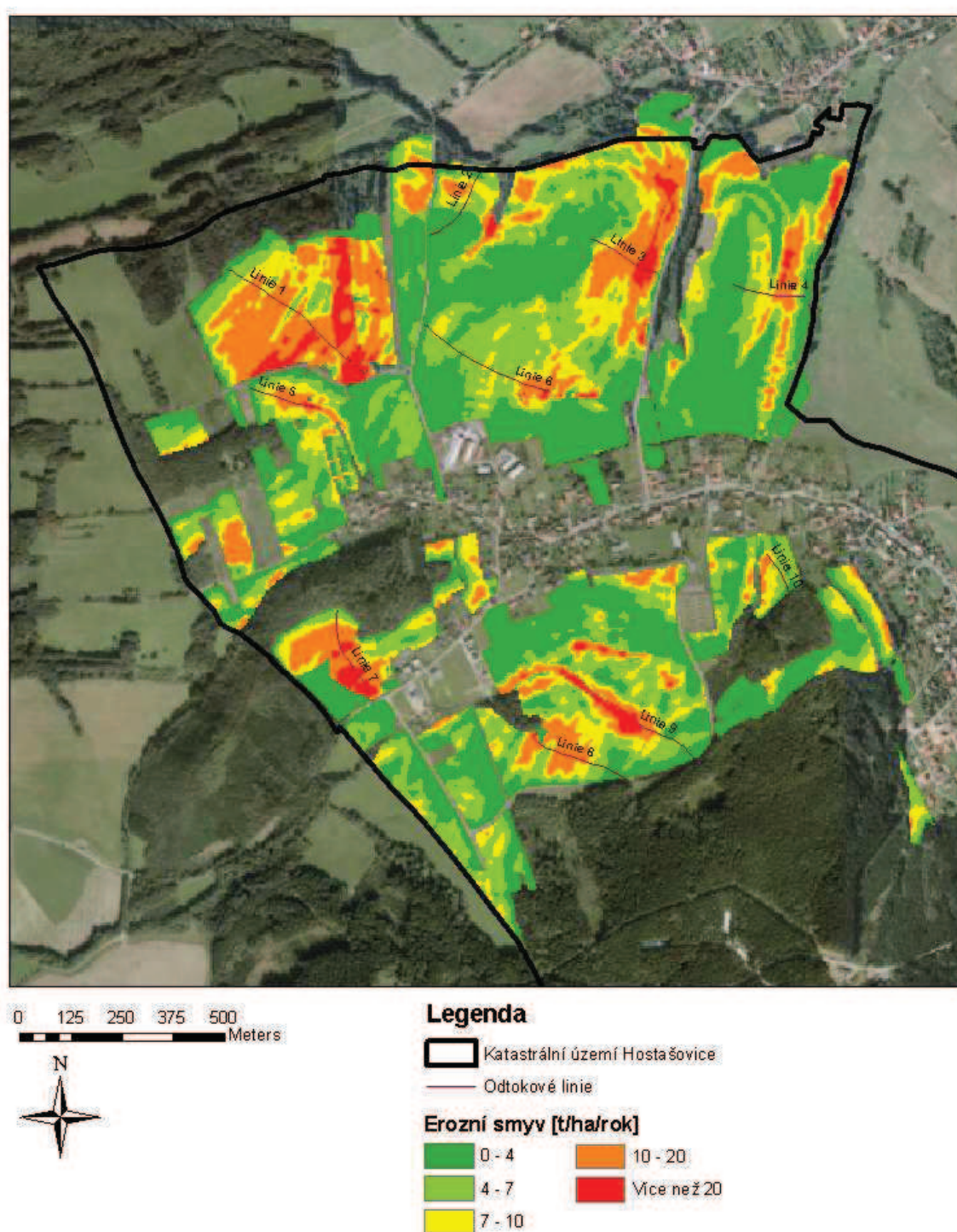
Obrázek 11 Mapa C faktoru

Hodnota K faktoru byla získána klasifikací mapy BPEJ.

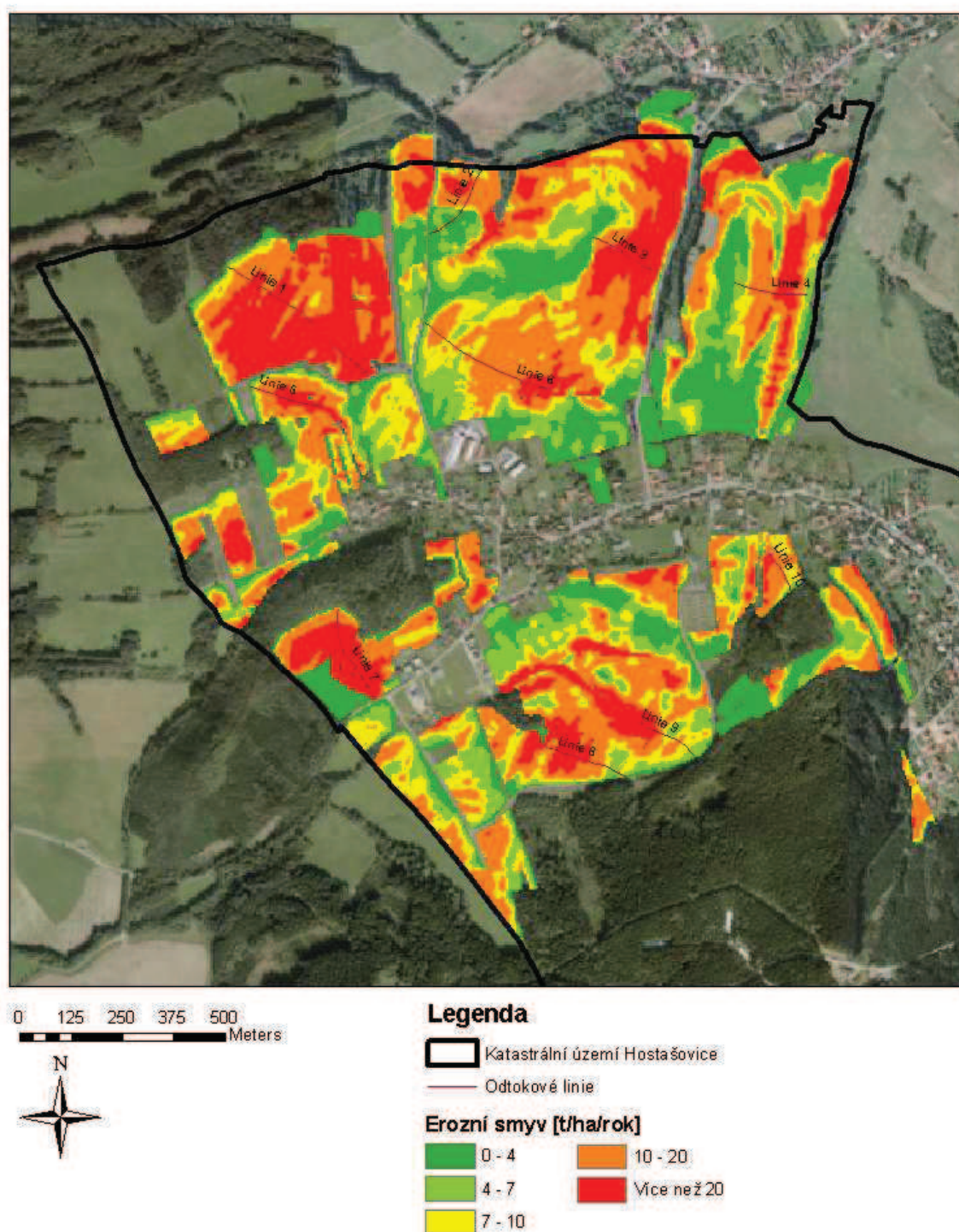


Obrázek 12 Mapa K faktoru

Výsledný erozní smyv získáme vynásobením jednotlivých faktorů v rastr kalkulátoru s hodnotami 20 a 40.



Obrázek 13 Mapa erozního smyvu R=20



Obrázek 14 Mapa erozního smyvu R=40

3.3 MODEL WEPP

WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA) je simulační model pro řešení odtoku a eroze, na jednotlivém svahu a v malém zemědělsko-lesním povodí (Renard a kol., 1991) Model je založen na moderních principech soudobé hydrologie, hydrauliky a erodologie a je určen pro simulace předpovědi povrchového odtoku, ztráty půdy a ukládání sedimentů v malých povodích na svazích, v údolnicích pozemků a v korytech drobných vodních toků. Model používá měřené deště nebo syntetické návrhové deště, včetně dešťů vytvořených stochastickým generátorem, který současně poskytuje informace i o ostatních denních meteorologických údajích. Model WEPP poskytuje informace o polohovém a časovém rozložení ztrát půdy a její depozici včetně přesné lokalizace s vyznačením místa a doby výskytu na povodí. Simulace procesu eroze rozlišuje kinetické rozrušování půdy dešťovými kapkami, plošnou a rýžkovou erozi i erozi rýhovou vyvolanou soustředěným odtokem (Janeček a kol., 2012).[3]

Eroze půdy ze svahu je v modelu WEPP reprezentována dvěma způsoby, a to rozrušováním půdních částic kinetickou energií kapek deště a jejich následný transport plošným povrchovým odtokem nazývané jako mezirýhová eroze a rozrušováním půdních částic smykovým napětím a dále transportovaných soustředěným odtokem, tj. rýhová eroze (Flanagan a kol., 1995).[3]

Model WEPP pro popis pohybu sedimentu v rýhách používá ustálenou rovnici kontinuity sedimentu vyjádřenou jako (Foster a kol., 1995):

$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i$$

Kde x je vzdálenost na svahu [m], G je množství sedimentu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$], D_i je dotace mezirýhového sedimentu do rýhy [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$] a D_f je míra rýhové eroze [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$]. Přísun mezirýhového sedimentu D_i je uvažován jako nezávislý od x a je vždy pozitivní. Rýhová eroze D_f je pozitivní pro uvolňování sedimentu a negativní pro usazování sedimentu. Pro účely výpočtu v daném modelu obě hodnoty D_f a D_i jsou počítány na jednotku plochy rýhy a tím je G počítáno na jednotku šířky rýhy. Na základě kompletního výpočtu je ztráta půdy vyjádřena jako ztráta půdy na jednotku plochy povodí.[3]

Rovnici kontinuity sedimentu model aplikuje jako základ pro popis pohybu sedimentu v rýze. Stejně jako ostatní erozní modely (CREAMS) model WEPP počítá erozi z rýhových a mezirýhových oblastí a posuzuje uvolňování a usazování v rýhách a je funkcí části transportní kapacity, která je vyplněna sedimentem. Na rozdíl od ostatních modelů WEPP rozděluje odtok na rýhovou a mezirýhovou oblast a počítá smykové napětí založené na rýhovém odtoku než plošném odtoku (Page, 1988).[3]

Odhad parametrů WEPP není nijak závislý na vztazích udávaných v USLE. Erozní parametry jsou založeny na rozsáhlých terénních studiích Laflena a kol. (1987) a Simantona a kol. (1987), které byly speciálně navrženy a interpretovány pro erozní model WEPP. Protože erozní postupy v modelu WEPP využívají denní vodní bilanci a infiltrační postupy, které jsou prostorově variabilní, může model počítat erozi pro různá zadání hydrologie na svazích povodí (Foster a kol., 1995).[3]

Půdní komponenty z modelu WEPP

Půdní vlastnosti ovlivňují základní procesy vodní eroze prostřednictvím infiltrační schopnosti a povrchového odtoku, dále ovlivňují uvolňování částic vlivem dešťových kapek a koncentrací odtoku a transportem sedimentu. Půdní komponenty a další vztahy týkající se výpočtů v modelu WEPP přiblížil Alberts a kol. (1995). [3]

Mezi čtyři základní proměnné, které ovlivňují hydrologii erozních procesů, patří drsnost půdního povrchu, výška povrchových hřebenů po zpracování půdy, tzv. „výška brázd“, objemová hmotnost a efektivní hydraulická vodivost. [3]

Drsnost půdního povrchu je nejčastěji spojována s obděláváním orné půdy, ale i zpracování půdy nebo operace spojené s rozrušováním půdy utváří drsnost půdního povrchu. Výška brázd, která je spojena s drsností, vzniká při zpracování půdy. [3]

Terénní nerovnosti akumulčních prostorů povrchového odtoku jsou v pozitivní korelaci s drsností půdního povrchu. Drsnost půdního povrchu se mění v čase na základě zpracování půdy, průběhu srážek a také zamrzání a tání půdního povrchu. [3]

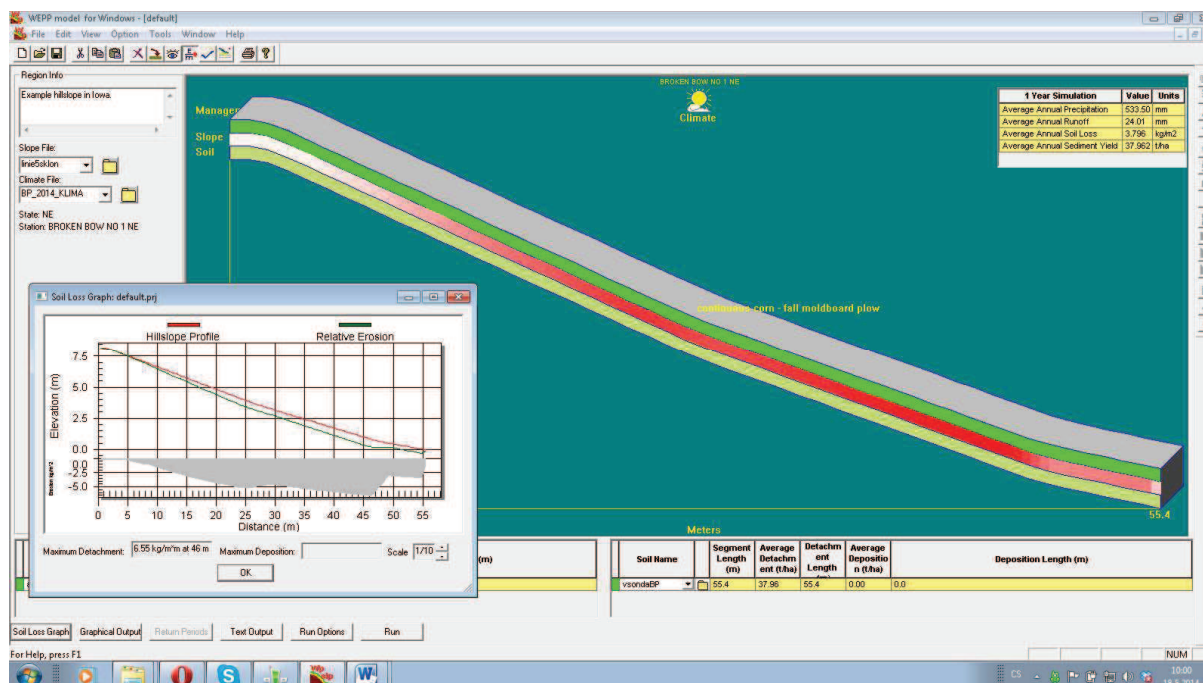
Objemová hmotnost vyjadřuje celkový objem pórů v půdě a užívá se pro predikci infiltračních parametrů půdy. Objemová hmotnost se mění v čase na základě zpracování půdy, vlhčení a sušení půdy a zamrzání a rozmrzání půdy. [3]

Protože zpracování půdy je jeden z hlavních faktorů ovlivňujících půdní vlastnosti, je nutno zjistit informace o způsobu obdělávání půdy, který byl proveden v průběhu simulace eroze. Konkrétní vstupy zahrnují: typ obdělávání půdy, datum obdělávání půdy, hloubku obdělávání půdy, úroveň poškození půdního povrchu a zapravení residuálních zbytků do půdy. [3]

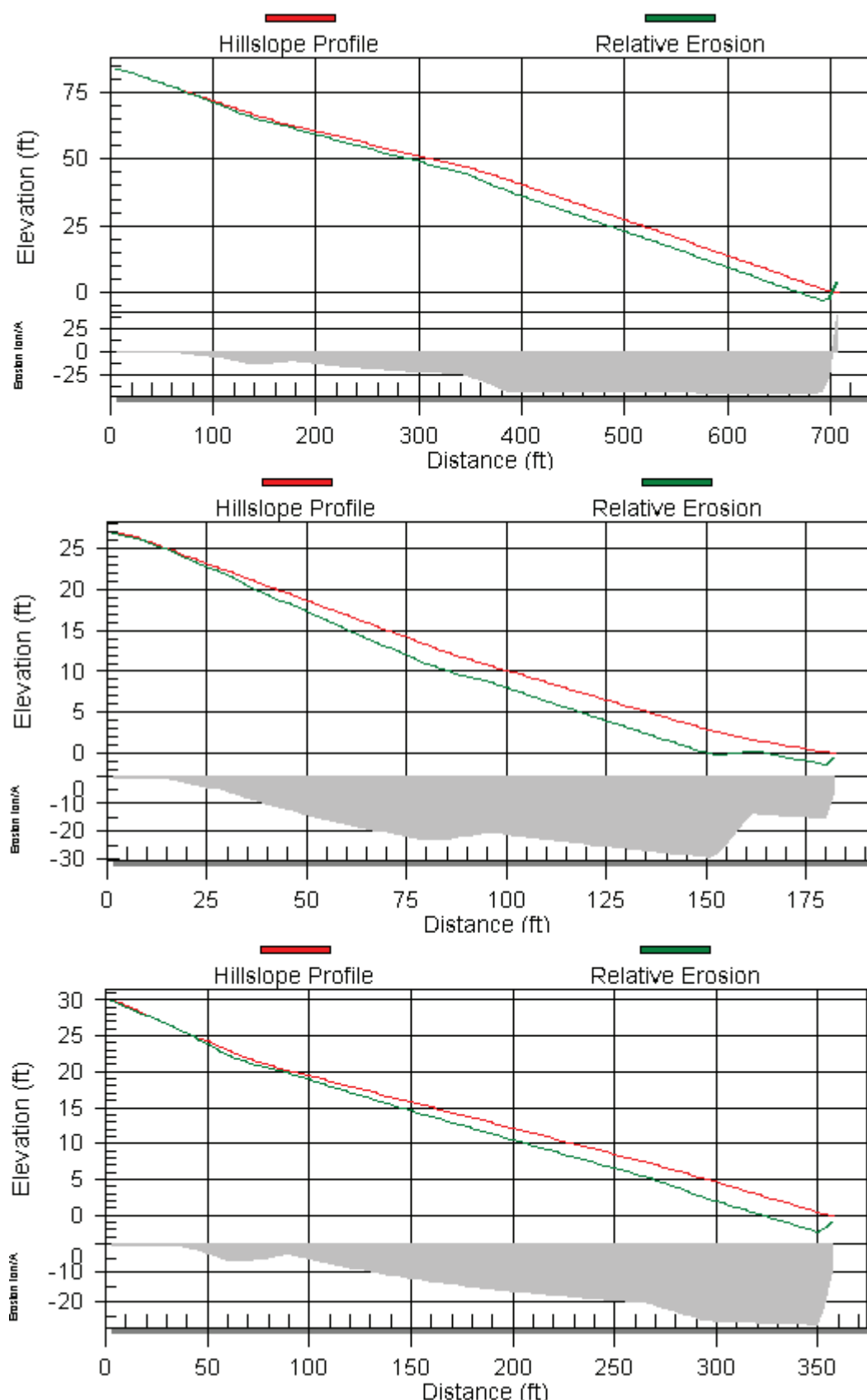
Po zpracování půdy dochází v čase ke změnám drsnosti půdního povrchu, objemové hmotnosti a hydraulické vodivosti v průběhu zvlhčování a vysušování půdy a v průběhu zamrzání a rozmrzání půdy. Denní srážky, max. a min. teplota vzduchu a obsah vody v půdě jsou důležitými proměnnými v rovnicích, které predikují změny půdních vlastností v čase.[3]

Drsnost půdního povrchu

Povrchová drsnost v rýhách je relativně malá a je často nezávislá na drsnosti v mezirýhovém prostoru. Tvorba rýh je nižší na drsném povrchu než na hladkém povrchu. To je způsobeno ve spojitosti kritického smykového napětí (τ_c) s drsností půdního povrchu RR , protože WEPP bere v úvahu, že rýhová eroze nebude vznikat, dokud tečné napětí povrchového odtoku vody nepřevyší kritické smykové napětí povrchu.[3]



Obrázek 15 Ukázka prostředí programu WEPP



Obrázek 16 Ukázka výstupních grafů z programu WEPP (linie č. 2,5 a 6)

3.4 ATLAS

Výpočet eroze vychází z metodiky univerzální rovnice Wischmeier-Smith. Na základě podélného profilu program určí topografický faktor podle standardní metodiky, dělí profil do 10 úseků. Po zadání dalších výpočetních faktorů (srážkový faktor R, faktor náchylnosti k erozi K, faktor protierozních opatření P a faktor vlivu vegetace C) program spočítá maximální dlouhodobou ztrátu půdy z pozemku. Výpočet může probíhat až v pěti variantách pro různé hodnoty faktoru C. Výpočet je protokolován do textového souboru. Hodnoty faktorů R,K,P,C se ukládají pro případné další výpočty.[4]

Hydrologické nástroje jsou založeny na metodě spádových křivek, nazývaných zde kapky. Jedná se o lomenou čáru, ležící na terénu a mající směr kolmý k vrstevnicím této plochy. Kapka tedy vychází ze zadaného bodu a postupuje po spádnici ("stéká") směrem ze svahu. Odtokové linie „kapky“ byly oproti liniím ručně vykreslovaným lehce odlišné. Ale protože se nejednalo o směrové ani délkové rozdíly, lze tyto drobné chyby zanedbat.[4]

4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Aby bylo možné výsledky z jednotlivých programů porovnávat, bylo nutné ve všech programech zadávat stejné hodnoty. V případě, že nebylo možné zadat přesně hodnoty, byly výpočty opraveny, aby bylo možné provést regulérní srovnání. Hodnoty erozního smyvu byly modely USLE a USLE2D počítány pro dva druhy dešťů (R20 a R40) a metodou USLE i pro dva druhy vegetace, přičemž jeden byl zatravněná plocha ($C=0.005$) a druhý byl zvolen dle klimatického regionu v němž se Hostašovice nachází ($C=0.204$). V případě USLE2D byly na liniích zonální statistikou spočítány průměrné hodnoty erozního smyvu z jednotlivých buněk. Hodnoty byly zaznamenány do následujících tabulek a grafu.

Tabulka 3 Výsledky programu ERCN

| ERCN | tráva ($C=0.005$) | | plodina ($C=0.204$) | |
|-------|---------------------|------|-----------------------|-------|
| | R=20 | R=40 | R=20 | R=40 |
| linie | | | | |
| 1 | 0.27 | 0.54 | 11.02 | 22.03 |
| 2 | 0.21 | 0.42 | 8.57 | 17.14 |
| 3 | 0.12 | 0.24 | 4.90 | 9.79 |
| 4 | 0.3 | 0.6 | 12.24 | 24.48 |
| 5 | 0.16 | 0.32 | 6.53 | 13.06 |
| 6 | 0.19 | 0.38 | 7.75 | 15.50 |
| 7 | 0.14 | 0.28 | 5.71 | 11.42 |
| 8 | 0.22 | 0.44 | 8.98 | 17.95 |
| 9 | 0.12 | 0.24 | 4.90 | 9.79 |
| 10 | 0.17 | 0.34 | 6.94 | 13.87 |

Tabulka 4 Výsledky programu Atlas EROZE

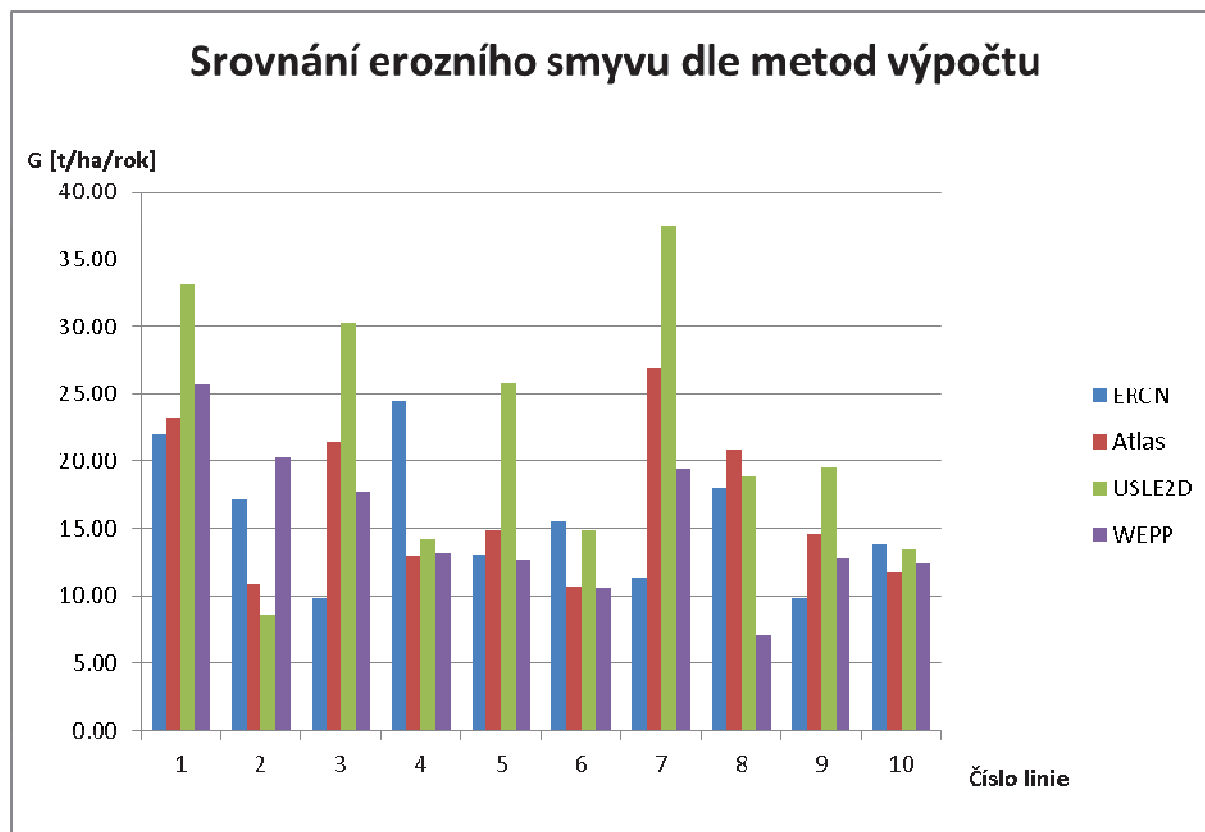
| Atlas | tráva ($C=0.005$) | | plodina ($C=0.204$) | |
|-------|---------------------|------|-----------------------|-------|
| | R=20 | R=40 | R=20 | R=40 |
| linie | | | | |
| 1 | 0.29 | 0.57 | 11.64 | 23.27 |
| 2 | 0.13 | 0.27 | 5.44 | 10.87 |
| 3 | 0.26 | 0.53 | 10.73 | 21.45 |
| 4 | 0.16 | 0.32 | 6.45 | 12.91 |
| 5 | 0.18 | 0.36 | 7.43 | 14.86 |
| 6 | 0.13 | 0.26 | 5.34 | 10.67 |
| 7 | 0.33 | 0.66 | 13.48 | 26.95 |
| 8 | 0.26 | 0.51 | 10.47 | 20.94 |
| 9 | 0.18 | 0.36 | 7.29 | 14.58 |
| 10 | 0.14 | 0.29 | 5.86 | 11.72 |

Tabulka 5 Výsledky programu USLE2D

| USLE2D | tráva (C=0.005) | | plodina (C=0.204) | |
|--------|-----------------|------|-------------------|-------|
| | R=20 | R=40 | R=20 | R=40 |
| linie | | | | |
| 1 | 0.41 | 0.81 | 16.56 | 33.12 |
| 2 | 0.11 | 0.21 | 4.34 | 8.68 |
| 3 | 0.37 | 0.74 | 15.15 | 30.30 |
| 4 | 0.17 | 0.35 | 7.13 | 14.26 |
| 5 | 0.32 | 0.63 | 12.91 | 25.82 |
| 6 | 0.18 | 0.36 | 7.43 | 14.86 |
| 7 | 0.46 | 0.92 | 18.79 | 37.58 |
| 8 | 0.23 | 0.46 | 9.43 | 18.86 |
| 9 | 0.24 | 0.48 | 9.76 | 19.52 |
| 10 | 0.17 | 0.33 | 6.75 | 13.50 |

Tabulka 6 Výsledky programu WEPP

| WEPP | tráva (C=0.005) | | plodina (C=0.204) | |
|-------|-----------------|------|-------------------|-------|
| | R=20 | R=40 | R=20 | R=40 |
| linie | | | | |
| 1 | 0.32 | 0.63 | 12.89 | 25.78 |
| 2 | 0.25 | 0.50 | 10.14 | 20.29 |
| 3 | 0.22 | 0.43 | 8.86 | 17.72 |
| 4 | 0.16 | 0.32 | 6.55 | 13.10 |
| 5 | 0.16 | 0.31 | 6.35 | 12.69 |
| 6 | 0.13 | 0.26 | 5.28 | 10.55 |
| 7 | 0.24 | 0.48 | 9.72 | 19.44 |
| 8 | 0.09 | 0.17 | 3.55 | 7.10 |
| 9 | 0.16 | 0.31 | 6.38 | 12.77 |
| 10 | 0.15 | 0.30 | 6.22 | 12.43 |



Obrázek 17 Srovnání erozního smyvu

Při porovnání výsledků z programu ERCN a programu Atlas EROZE bereme v úvahu, že výpočtová metoda je stejná (USLE). Rozdíl je pouze v zadávání linií. V programu ERCN byly linie zadávány ručně dle homogenity sklonitosti, zatímco v programu Atlas EROZE byly sklonitostní faktory brány přímo z digitálního modelu terénu. Lze tedy předpokládat, že využití programu Atlas bude přesnější, neboť zde nevzniká chyba ve sklonitosti a vykreslení svahu je přesné. Naproti tomu zde může vznikat chyba při zadávání K-faktoru, protože je linie rozdělena pouze na 10 částí. Tato chyba se při delším svahu bude zvětšovat, ale lze ji omezit počítáním průměrného K-faktoru pro jednotlivou desetinu svahu. Naproti tomu v programu ERCN můžeme rozdělit počítanou linii na libovolné množství částí a pro každou zvlášť určit faktory.

Největší shody se dosáhlo v linii č.10. Je to způsobeno zejména délkou a jednotným sklonem svahu. Linie č. 10 je s délkou 110.8m nejkratší počítanou linií.

5 ZÁVĚR

Na katastrálním území Hostašovice byl spočítán erozní smyv modely USLE, USLE2D, Atlas Eroze a WEPP. U všech metod jsou základem empirické vztahy, díky kterým ve výsledcích vznikaly nemalé rozdíly. Největší celkový smyv na linii byl zaznamenán při výpočtu modelem USLE2D v programu ArcGIS. V některých liniích bych smyv vypočítaný dle USLE2D dokonce více než dvakrát větší než průměr ostatních metod v téže linii. Celkový nejmenší výsledný smyv nelze přiřadit k žádné metodě.

Programy Atlas EROZE a ERCN využívající stejnou metodu USLE dosahují různých výsledných hodnot z důvodu nepřesností při měření délek a sklonů svahů na liniích, určování K faktoru nebo přímo nevhodně zvolené odtokové linii.

Používání modelu USLE2D v prostředí GIS má výhodu převážně v rozšířeném pohledu na erozi v celém zájmovém území. Není potřeba vybírat reprezentativní linie pozemků a poté je vyšetřovat. Celé území lze vyhodnotit v mnohem kratším čase než v ostatních programech.

Model WEPP vykazuje kromě linií 2 a 8 výsledky velice podobné ostatním modelům, přestože jako jediný model nepoužívá univerzální rovnici ztráty půdy. Zároveň jako jediný model dokáže pracovat nejen s erozí, ale také se sedimentací půdy.

Některé modely jsou při proměnlivých sklonech a větších délkách svahů méně přesné. Naproti tomu u krátkých svahů jednotného sklonu docházely modely přibližně ke stejným výsledkům. Použitím empirických vzorců ve výpočtových modelech dochází při odlišných podmínkách k nepřesnostem. Modely je třeba volit s ohledem na co nejmenší chybu ve výsledku. Výběr správného modelu pro konkrétní svah či linii je podmíněn především zkušenostmi.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. EKatalog BPEJ. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz/>
- [2] JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 1. Praha: ISV, 2002, 201 s. ISBN 80-858-6686-2.
- [3] DUMBROVSKÝ M. Modelování eroze půdy.
- [4] ATLAS SPOL. S.R.O. Atlas. Atlas EROZE [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.atlasltd.cz/eroze.html>
- [5] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. EKatalog BPEJ. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.vumop.cz/>
- [6] SISPO HOLOVOUSY. Stránky Ovocnářské unie České republiky. SISPO [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>
- [7] Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb., Příloha 2 [cit. 2014-05-29].
- [8] SEZNAM.CZ, a.s. Mapy.cz [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: mapy.cz
- [9] SISPO HOLOVOUSY. Stránky Ovocnářské unie České republiky. SISPO [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>

7 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Hydrologické skupiny půd [5] | 7 |
| Tabulka 2 Hlavní půdní jednotky [7] | 12 |
| Tabulka 3 Výsledky programu ERCN | 28 |
| Tabulka 4 Výsledky programu Atlas EROZE..... | 28 |
| Tabulka 5 Výsledky programu USLE2D | 29 |
| Tabulka 6 Výsledky programu WEPP | 29 |

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Geografická poloha k.ú. Hostašovice [8] | 3 |
| Obrázek 2 Mapa geologických poměrů | 4 |
| Obrázek 3 Hydrologická mapa k.ú. Hostašovice | 5 |
| Obrázek 4 Mapa hydrologických skupin půd | 6 |
| Obrázek 5 Klimatologická mapa [9] | 8 |
| Obrázek 6 Mapa využití zemědělské půdy | 9 |
| Obrázek 7 Mapa sklonitostí..... | 10 |
| Obrázek 8 Mapa hlavních půdních jednotek..... | 11 |
| Obrázek 9 Ukázka prostředí programu ERCN..... | 15 |
| Obrázek 10 Mapa LS faktoru | 18 |
| Obrázek 11 Mapa C faktoru | 19 |
| Obrázek 12 Mapa K faktoru..... | 20 |
| Obrázek 13 Mapa erozního smyvu $R=20$ | 21 |
| Obrázek 14 Mapa erozního smyvu $R=40$ | 22 |
| Obrázek 15 Ukázka prostředí programu WEPP..... | 25 |
| Obrázek 16 Ukázka výstupních grafů z programu WEPP (linie č. 2,5 a 6)..... | 26 |
| Obrázek 17 Srovnání erozního smyvu | 30 |

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|-------------|--|
| BPEJ | bonitované půdně ekologické jednotky |
| DMT | digitální model terénu |
| ERCN | model pro výpočet erozního smyvu |
| GIS | geografický informační systém |
| HPJ | hlavní půdní jednotka |
| HSP | hydrologická skupina půd |
| LPIS | registr využití zemědělské půdy |
| RUSLE | revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy |
| USLE | univerzální rovnice ztráty půdy |
| WEPP | water erosion prediction projection |

10 SEZNAM PŘÍLOH

Práce neobsahuje žádné přílohy.